

단일 디지털 제어를 이용한 독립형 태양광 발전 시스템의 MPPT 및 DC-DC컨버터 제어

진호상\*, 김희준\*\*, Jawad Ahmad\*  
 한양대학교 대학원 전자전기제어계측 공학과

Control of MPPT and DC-DC converter for a stand alone solar power system using a single digital controller

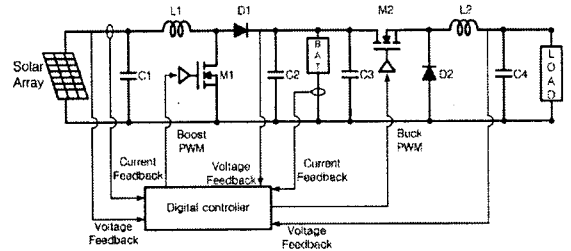
Ho-Sang Jin\*, Hee-Jun Kim\*\*, Jawad Ahmad\*  
 Dept. of Electronics, Electrical, Control, and Instrumentation Engineering, Hanyang University

**Abstract** - 본 논문은 단일 디지털 제어를 이용하여 독립형 태양광 발전 시스템에 사용되는 태양전지에서 발생한 전력을 수집하고 필요에 따라 에너지 저장 장치에 전력을 저장하는 Boost 컨버터가 최대전력점에서 동작하도록 제어하면서, 이 전압을 부하에 필요한 전압 값으로 변환하는 Buck 컨버터를 동시에 제어하는 방법을 제안한다.

제안된 독립형 태양광 발전 시스템의 구성은 에너지를 발생하는 태양전지, 최대전력점을 추종(MPPT)하도록 하는 Boost 컨버터, 부하에 적합한 준위의 전압을 공급하는 Buck 컨버터가 직렬로 연결되어 있다.

제안된 방법은 디지털 제어기의 제어변수 값들을 바꿈으로써 전체시스템의 출력특성을 쉽게 제어할 수 있어, 사용되는 태양전지 어레이의 종류와 환경조건 변화에 따라 쉽게 제어변수 값들을 조정할 수 있다. 또한 하나의 디지털 제어기로 최대전력점 제어부 및 Buck과 Boost 컨버터의 피드백 제어부를 구성하여 시스템의 구조가 간단해지기 때문에 소형 및 경량화를 이룰 수 있다.

지속적으로 전력을 공급해준다. 시스템의 제어부는 논문에서 제안한 단일 디지털 제어를 사용한다. 최대전력점 추종 제어부와 DC/DC 컨버터의 피드백 제어부를 디지털 제어기 하나로 구성하였다. 제어기 내부의 A/D 컨버터에 의해 변환된 태양전지 출력전압과 전류, 배터리 전류, 컨버터 출력전압 값을 이용하여 Boost와 Buck 컨버터의 시비율을 변화시켜 전체 시스템을 제어한다.



<그림 1> 독립형 태양광 발전 시스템의 블록도

1. 서 론

최근 화석에너지의 고갈 및 환경오염 문제에 대해 대체 에너지에 대한 연구 개발이 활발하게 이루어지고 있다. 개발되고 있는 여러 자원 중에서도 태양전지는 환경오염 없이 전기에너지를 생산할 수 있는 기능이 있어 이를 이용한 태양광 발전 시스템이 중요한 해결책으로 대두되고 있다. 이는 전기적 기반시설이 부족한 지역에 전력을 공급하는데 도움을 준다. 태양광 발전 시스템의 입력 전원은 출력특성이 자연조건에 좌우되는 태양전지이기 때문에 최대전력점 제어가 필요하며 부하에 안정화된 전원을 공급하기 위한 컨버터 제어도 필요하다. 따라서 아날로그 방식으로 제어를 하면 최대전력점 제어부와 컨버터 제어부로 나뉘지게 되어 외부 조건 변화에 따른 시스템의 조율이 힘들다.

이러한 점을 개선시키기 위해 본 논문에서는 단일 디지털 제어기를 사용한 독립형 태양광 발전시스템의 제어를 제안한다. 이는 하나의 제어기로 여러 개의 시스템을 제어하므로 필요시 각각의 시스템에 대해 유기적인 제어가 가능하며, 프로그램 수정만으로 시스템의 동작 조건을 변경할 수 있다.

2. 본 론

2.1 독립형 태양광 발전 시스템의 구성

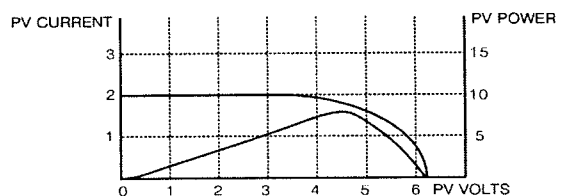
<그림 1>은 독립형 태양광 발전 시스템의 블록도이다. 앞단은 Boost 컨버터로 구성되어 있다. 태양전지가 최대전력점에서 동작하도록 제어하며, 잉여전력을 배터리 충전에 필요한 전압으로 승압시켜 준다. Boost 컨버터에 직렬로 연결된 Buck 컨버터는 부하에 필요한 전원을 공급해준다. 배터리는 부하에 공급하고 남은 전력을 저장하여, 야간 또는 태양전지의 전력이 충분하지 않을 때 부하에

2.2 태양전지의 출력특성과 MPPT 제어

독립형 태양광 발전 시스템은 태양전지에서 생산된 에너지만을 사용한다. 태양전지는 에너지를 모아두는 기능이 없으므로 배터리를 이용하여 주간에는 잉여전력을 충전하고 야간 또는 태양전지의 출력전력이 부족할 경우 배터리에 충전된 전력을 이용하여 부하에 전력을 공급한다. 따라서 태양전지가 동작하는 주간에 최대전력을 얻어서 부하에 공급하고 남은 전력을 배터리에 충전하는 것이 중요하다.

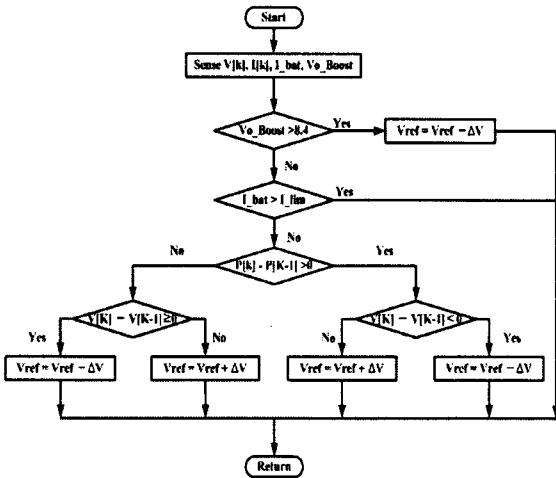
<그림 2>는 실험에 사용된 태양전지 어레이의 출력특성 곡선이다. 태양전지 전압이 4.5[V]이고 전류가 1.8[A]일 때 최대전력 8.1[W]를 얻을 수 있다. 하지만 태양전지 어레이는 일사량과 부하의 변화에 의해서 동작점이 변하기 때문에 항상 최대전력을 얻을 수 없다. 따라서 태양전지에 연결된 Boost 컨버터를 제어하여 최대전력점을 추종하도록 한다.

논문에서 사용된 최대전력점 추종 알고리즘은 태양전지의 출력전압을 주기적으로 증가 또는 감소 시키가면서 최대전력점을 찾는 P&O 알고리즘을 기반으로 한다.



<그림 2> 태양전지의 I-V곡선과 P-V곡선

### 2.2.1 태양전지 전력 제어 알고리즘



<그림 3> 태양전지 전력 제어 알고리즘

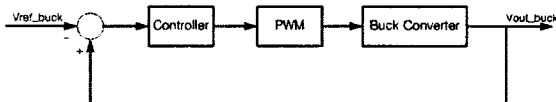
$V_{o\_Boost}$ 는 Boost 컨버터의 출력전압,  $V[K]$ 는 태양전지의 현재 전압 값,  $V[K-1]$ 는 태양전지의 과거 전압 값,  $I[K]$ 는 태양전지 출력전류,  $P[K]$ 는 태양전지의 현재 전력 값,  $P[K-1]$ 는 태양전지의 과거 전력 값,  $I_{bat}$ 는 배터리 충전전류 값,  $I_{lim}$ 은 배터리 전류 제한 값,  $V_{ref}$ 는 태양전지의 기준전압 값,  $\Delta V$ 는 태양전지의 기준전압 값의 변화량이다.

기존의 P&O 알고리즘을 이용하면 항상 최대전력점을 추종하게 된다. 따라서 잉여전력을 배터리에 충전할 경우 배터리 충전허용 전류를 초과하는 경우가 발생 한다. 또한 배터리 충전이 완료되는 경우에는 더 이상 잉여전력을 저장할 장치가 없으므로 부하에 필요한 전력만 공급해주어야 한다. 이러 문제점을 배터리의 전류와 Boost 컨버터의 출력전압을 이용하여 개선하였다.

사용된 배터리의 충전 종료 전압은 8.4[V]이다. Boost 컨버터의 출력전압이 8.4[V] 이하이면 최대전력점 추종을 한다. 배터리의 전류허용치를 초과하면  $V_{ref}$ 를 변화시키지 않는다. 출력전압이 8.4[V] 이상이 되면 충전은 종료되고 8.4[V]를 유지하도록 제어하면서 부하에 전력을 공급해준다. 따라서 최대전력점을 추종하더라도 전체 시스템에서 필요한 전력만을 공급하므로 태양전지를 효율적으로 사용할 수 있다.

### 2.3 Buck 컨버터 제어

<그림 4>는 Buck 컨버터의 제어 블록도이다. 출력전압과 기준전압을 디지털 제어기에서 비교하여 Buck 컨버터의 시비율을 결정한다. Buck 컨버터 제어를 통해 최대전력점 제어에 의해 변하는 Boost 컨버터의 출력을 부하에 필요한 일정 전압으로 공급한다.

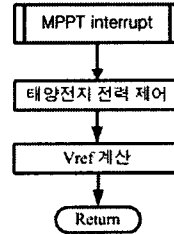


<그림 4> Buck 컨버터 제어 블록도

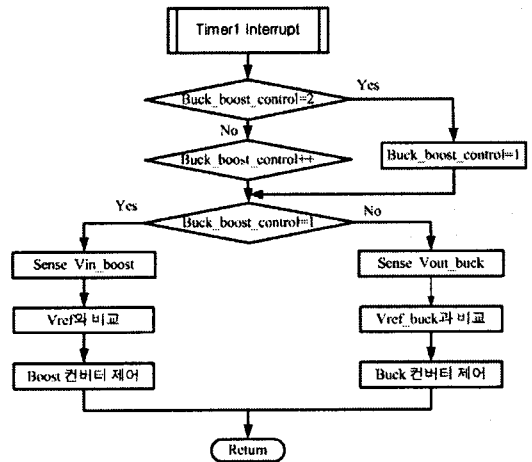
### 2.4 단일 디지털 제어기에 의한 시스템 제어

위에 기술된 태양전지 전력 제어와 DC/DC 컨버터 제어는 단일 디지털 제어기에서 서로 다른 타이머를 사용하여 제어한다.

<그림 5>는 전체 시스템 제어 알고리즘이다. MPPT 인터럽트에서 계산된 태양전지 기준전압( $V_{ref}$ )은 타이머1 인터럽트의 Boost의 입력( $V_{in\_boost}$ )과 비교되어 Boost 컨버터의 시비율을 변화시켜 최대전력점을 추종한다. 또 Buck 컨버터의 출력전압( $V_{out\_buck}$ )을 Buck 컨버터 출력 기준전압( $V_{ref\_buck}$ )과 비교하여 Buck 컨버터를 제어한다. Boost 컨버터와 Buck 컨버터는 타이머1 인터럽트에서 번갈아가면서 제어된다.



a) MPPT Interrupt ( MPPT 제어 )



b) Timer1 Interrupt ( DC/DC 컨버터 제어 )

<그림 5> 전체 시스템 제어

### 2.5 실험 결과

실험은 다음과 같은 절차를 통해 진행되었다.

- 1) 태양 전지의 최대전력점을 측정하였다.
- 2) 최대전력점을 추종할 때 시스템 입력 전력과, 배터리에 필요한 전력 및 Buck 컨버터의 출력전력을 측정하여 효율을 계산하였다.

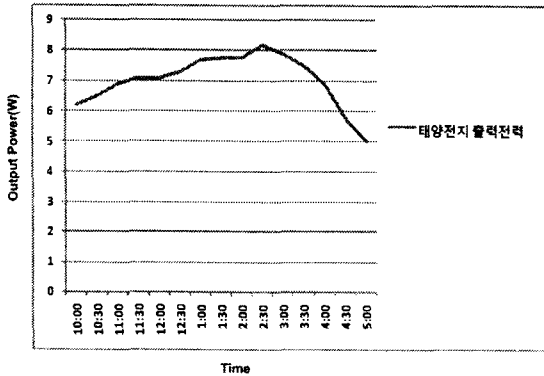
$$\eta = \frac{P_{Battery} + P_{Buck}}{P_{Solar Cell}}$$

- 3) 배터리 전류 제한 값 변수를 바꿔서 제어되는지 확인하였다.

- 4) 부하의 전류를 변화시켜 Buck 컨버터가 출력전압을 일정하게 유지하는 확인하였다.

위의 실험절차는 단일 디지털 제어기에 의해 최대전력점을 추종하면서 Buck 컨버터를 제어하며, 배터리의 상태에 따라 태양전지의 전력제어가 되는지를 확인하기 위함이다.

<그림 6>은 제어기를 이용해 최대전력점을 추종할 때의 전력곡선이다. 일사량의 변화에 따라 최대전력점을 추종함을 확인 할 수 있다. 표1, 표2는 Battery, Buck, Solar Cell의 전력과 전체시스템의 효율을 나타낸다.



<그림 6> 태양전지의 출력전력

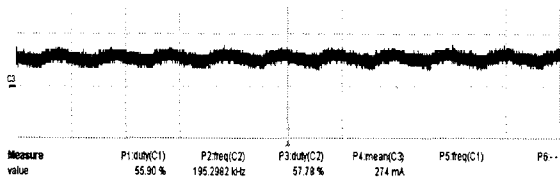
<표1> 최대전력점 ( V=4.50[V], I=1.80[A] )

	전압[V]	전류[A]	전력[W]	$\eta$ [%]
Solar cell	4.45	1.80	8.01	90
Battery	7.92	0.79	6.26	
Buck	5.02	0.20	1.00	

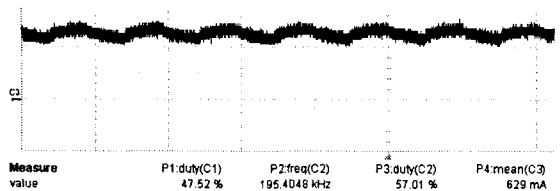
<표2> 최대전력점 ( V=4.45[V], I=1.30[A] )

	전압[V]	전류[A]	전력[W]	$\eta$ [%]
Solar cell	4.42	1.30	5.74	89.9
Battery	8.00	0.52	4.16	
Buck	5.02	0.20	1.00	

<그림 7>은 제어기의 변수 값들 중 배터리 충전전류를 제한하는 변수를 바꿔 원하는 전류로 충전할 수 있는지를 실험한 파형이다. C3값이 전류 제한 값에 따라서 변하는 것을 확인 할 수 있다. 제한된 전류배터리의 허용 전류치를 넘지 않는 범위 내에서 원하는 충전전류로 제어 가능하다.



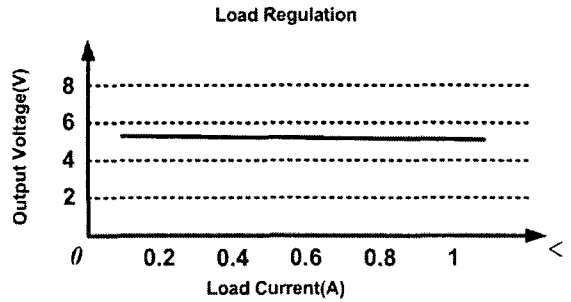
a) 배터리 전류 제한 값 300[mA]



b) 배터리 전류 제한 값 650[mA]

<그림 7> 배터리의 전류제한 값에 따른 전류파형

<그림 8>은 Buck 컨버터의 Load Regulation곡선 이다. 부하의 전류가 변할 때  $\pm 0.3\%$  이내의 부하 변동율을 가지는 것을 확인 할 수 있다.



<그림 8> Buck 컨버터의 변동률

### 3. 결 론

본 논문에서는 단일 디지털 제어기를 이용한 독립형 태양광 발전 시스템의 MPPT 제어 및 DC/DC 컨버터 제어를 제안 하였다. 제안된 방법과 알고리즘은 실험을 통해 두 개의 시스템을 하나의 디지털 제어기를 이용하여 제어 할 수 있음을 보였다. 또한 최대 8.1[W]의 전력을 생산할 수 있는 태양전지 어레이를 이용한 실험에서 효율이 90%이므로 태양전지를 효율적으로 사용할 수 있을 것이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 유권중, 정역석, 최주엽, "새로운 고효율 MPPT 제어 알고리즘 고찰", 한국태양에너지학회 논문집, Vol22,NO.3, pp.11-20, 2002.
- [2] R. Kiranmayi, K. Vijaya Kurmar Reddy and M. Vijaya Kumar, "Modeling and a MPPT Method for Solar cells", Journal of Engineering and Applied sciences, 3(1), pp.123-133, 2008.
- [3] T/ Martin, S. Ang, "Digital control for switching converters", Proc. of the IEEE International Symposium, Vol. 2, pp. 480-484, 1995.
- [4] Chihchiang Hua and Chihming Shen, "Study of maximum power tracking techniques and control of DC/DC converters for photovoltaic power system", IEEE-PESC.Conf.Rec, Vol. 1, pp.86-93, 1998